Aus dem Engeriedspital Bern
Prof. *F. Ludwig*

Biologische Wirkungen der Kurzwellen auf Keimzellen und Keimdrüsen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der Universität Bern

Vorgelegt von
FRITZ ROTH
aus Buchholterberg (Kt. Bern)

Bern 1944
Druck von Benno Schwabe & Co.
Basel

Aus dem Engeriedspital Bern
Prof. *F. Ludwig*

Biologische Wirkungen der Kurzwellen auf Keimzellen und Keimdrüsen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der Universität Bern

Vorgelegt von
FRITZ ROTH
aus Buchholterberg (Kt. Bern)

Bern 1944
Druck von Benno Schwabe & Co.
Basel

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. F. Ludwig von der medizinischen Fakultät zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 8. Dezember 1943.

Der Dekan der medizinischen Fakultät:
Prof. Dr. Glanzmann

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck
aus der Schweizerischen Medizinischen Wochenschrift
74. Jahrgang 1944, Nr. 31, Seite 835

Inhaltsübersicht

I. Einleitung 5

II. Physikalische Eigenschaften der Kurzwellen 6

III. Literaturübersicht über biologische Wirkungen der Kurzwellen auf embryonale Zellen und Keimdrüsen 8

IV. Eigene Versuche:

A. Versuche mit pflanzlichen Keimzellen 11
B. Versuche mit Froschlaich 17
C. Versuche mit befruchteten Hühnereiern 17
D. Versuche mit weißen Mäusen 21

V. Kritische Betrachtung der Versuchsergebnisse 22

VI. Zusammenfassung der eigenen Versuchsergebnisse 25

VII. Literaturnachweis 26

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546502_0047

I. Einleitung

Die Kurzwellen (KW) sind in kürzester Zeit zu einem festen Bestandteil der physikalischen Therapie geworden. Doch mit der schnellen Entwicklung des KW-Verfahrens machten sich in gleichem Maße auch viele unangenehme Nebenerscheinungen bemerkbar. Schon die Röntgentherapie zeigte, daß die X-Strahlen, neben der heilenden Wirkung, sehr nachteilige Folgen für den Gesamtorganismus, insbesondere für die Keimdrüsen und die embryonale Entwicklung haben können.

Es erschien deshalb als sehr interessant, an einer Reihe von Versuchen zu zeigen, wie sich die KW, die im elektromagnetischen Spektrum gerade am andern Ende zu finden sind, in diesem Punkte verhalten. Die Reaktionen von Keimzellen auf diese Art von Strahleneinwirkung zu untersuchen, war auch deshalb noch von Interesse, weil die chronisch-entzündlichen Erkrankungen des weiblichen Beckens und der männlichen Geschlechtsorgane zu einem wichtigen Anwendungsgebiet der KW geworden sind.

Anfänglich glaubte man die KW-Wirkung dem in bezug auf Wellenlänge sehr nahe verwandten Diathermieverfahren, das in seinen Auswirkungen schon seit längerer Zeit gut bekannt ist, gleichsetzen zu können, da bei beiden Verfahren Wärme entsteht. Bei der Betrachtung des elektromagnetischen Spektrums fällt jedoch auf, daß sich jeweils die biologischen Wirkungen innerhalb weniger Oktaven zusammendrängen und daß innerhalb dieser beschränkten Bereiche dieselben ganz verschieden sind. Diese Tatsache allein erlaubt also schon den Schluß, daß im Bereich der Hertzschen Wellen Unterschiede in der Wirkung auf lebende Gewebe vorhanden sein können. Es ist deshalb wohl angezeigt, die verschiedene Wirkungsweise dieser beiden Methoden darzulegen und etwas auf die Physik der KW einzugehen (siehe nächstes Kapitel).

Wohl ist bei der KW-Wirkung die Wärmebildung das am besten faßbare Moment, was jedoch nicht berechtigt, die Wirkung nur der Wärme zuzuschreiben. Wäre dies der Fall, so sollte man die gleichen Effekte auch mit bloßer Wärme (Heizkasten, heiße

Umschläge usw.) erzeugen können, was jedoch lange nicht immer gelingt. Bei der vorliegenden Arbeit wurde deshalb stets darauf geachtet, die KW-Wirkung mit reiner Wärmewirkung zu vergleichen und die Unterschiede aufzuzeigen.

II. Physikalische Eigenschaften der Kurzwellen

Die moderne KW-Therapie arbeitet mit elektrischen Hochfrequenzströmen mit Schwingungszahlen von 30—300 Millionen in der Sekunde, was einer Wellenlänge von 10—1 m entspricht. Der Unterschied zur Diathermie liegt, physikalisch betrachtet, nur in einer andern Frequenz ($\gamma = 1$ Million). Aber schließlich unterscheidet sich die Röntgenstrahlung vom sichtbaren Licht auch nur durch die Schwingungszahl, während die Wirkung doch eine ganz andere ist. Gerade dieser Frequenzunterschied mit seinen verschiedenartigen Einwirkungen auf biologische Körper gebietet eine scharfe Trennung zwischen KW und Diathermie.

Die Einwirkung der elektrischen Schwingungen bei diesen beiden Verfahren geschieht schon auf verschiedene Weise. Bei der *Diathermie* wird das zu behandelnde Objekt direkt in den Schwingungskreis eines Hochfrequenzgenerators eingeschaltet. Die elektrische Schwingung kommt als gewöhnlicher elektrischer Strom im betreffenden Körper zur Wirkung. Dieser ist als Ohmscher Widerstand aufzufassen, in dem der Stromdurchgang auf Grund des Kirchhoffschen Gesetzes längs den Bahnen der größten Leitfähigkeiten erfolgt. Beim Durchfließen dieser leitenden Schichten, Dielektrika werden strikte umgangen, entsteht Joulesche Wärme, die zu den therapeutischen Zwecken benutzt wird.

Bei der Anwendung der höheren Frequenzbereiche der *Kurzwellen* bevorzugt nun der Strom immer mehr den dielektrischen Weg, während der Leitfähigkeitsweg an Bedeutung verliert, bei sehr hohen Frequenzen sogar ganz vernachlässigt wird. Wird bei der Diathermie der Körper direkt in den Schwingungskreis eingeschaltet, so wird er bei dem KW-Verfahren in ein sog. Kondensatorfeld gebracht. Dieses ist meist der an den Primärkreis eines Senders induktiv gekoppelte Sekundärkreis.

Auch die Aussendung von freien Raumwellen mittels einer Antenne (Anwendung der KW in der Radiotechnik) vermag biologische Wirkungen auszuüben. Gerade durch diese Ausstrahlungen ist man auf die „Nebenwirkungen" der KW aufmerksam gemacht worden. Leute, die in der Nähe von solchen Sendern arbeiteten, klagten über nervöse Uebererregbarkeit, psychisch gesteigerte Reizbarkeit, allgemeine Mattigkeit usw. Man beobachtete sogar Auftreten von Ekzemen an hervorspringenden Körperteilen. Alle

diese Symptome verschwanden prompt wieder, wenn sich die Betreffenden für einige Zeit aus dem Sendebereich entfernten.

Für therapeutische Zwecke kommt jedoch die Antennenausstrahlung nicht in Betracht, da konzentrierte Einwirkungen von höheren Energien nur durch Benutzung des Kondensatorfeldes erreicht werden können. Man verwendet also nicht die elektromagnetischen Wellen, die ein Hochfrequenzstrom ausstrahlt, sondern diesen Strom selbst.

Wie verhält sich nun ein biologischer Körper in einem KW-Wechselfeld ? Vom Standpunkt des Elektrophysikers aus betrachtet stellt ein solcher Körper ein komplexes Dielektrikum dar. Er besteht aus einem kompliziert geschichteten Zellverband, dessen einzelne Bestandteile verschiedene elektrische Leitfähigkeiten und Dielektrizitätskonstanten aufweisen. Der KW-Strom vermag nun, im Gegensatz zur Diathermie, die dielektrischen Schichten vermittels des Verschiebungsstromes zu durchfluten. Es spielen sich also in einem Nichtleiter molekulare Vorgänge ab, die in einer Verzerrung, Verdrehung oder Verschiebung elektrischer Ladungen, z. T. der Moleküle selbst, bestehen (*Maxwell*). Nach *Behnken* (1) sind die reagierenden Gebilde um so größer, je größer die Wellenlänge wird. γ-Strahlen affizieren die Atomkerne, Röntgenstrahlen dringen bis in die innersten Schichten der Elektrohüllen selbst der schwersten Atome vor. Ultraviolette und sichtbare Strahlen wirken auf weiter außen gelegene Elektronen (chemische Valenzelektronen). Ultrarote Strahlen regen die Eigenschwingungen ganzer Atome oder Atomgruppen im Molekül an. Bei den KW sind die Molekülkomplexe die beeinflußten Resonatoren. Die Eiweiße sind Dipole, die sich in der Richtung der Feldkraft einzustellen versuchen. Bei dem ständigen Richtungswechsel der Kraft sind sie also in steter Bewegung. Dieses Umspringen würde an sich keine Energie verbrauchen (Verschiebungsstrom), wenn es reibungslos erfolgte. Aber je nach dem kolloidalen Zustand und der Viskosität des Milieus, in dem sich die Dipole befinden, wird dieser Bewegung ein größerer oder kleinerer Widerstand entgegengesetzt. Infolge dieser Reibungsverluste wird ein Teil der Energie in Wärme umgewandelt. Bei sehr hohen Frequenzen werden also auch die Nichtleiter zu Leitern, absorbieren elektrische Energie und wandeln diese in Wärme um.

Die einzelnen Bestandteile der Zellverbände erfahren je nach der Frequenz eine verschiedene Energieaufnahme, was aus der uneinheitlichen Struktur hervorgeht. Auf diese Weise ist es also möglich geworden, einen biologischen Körper „aufzuheizen". Die dadurch hervorgerufenen Wirkungen sind meist nur auf biologischem Wege faßbar. Wie aus der Pharmakologie bekannt ist,

genügen oft schon geringste Aenderungen an gewissen kleinen Strukturen, um eingreifende biologische Wirkungen zu verursachen. Dabei machen sich im Gesamtchemismus oder in den gesamten elektrischen Vorgängen keine meßbaren Veränderungen bemerkbar.

III. Literaturübersicht

In der umfangreichen Literatur über KW waren verhältnismäßig nur wenig Angaben über deren biologische Wirkung auf Keimzellen und Keimdrüsen zu finden. Leider konnten aus den spärlich vorhandenen Mitteilungen vielfach nicht einmal richtige Schlüsse gezogen werden, da sie oft sehr widersprechend waren. Meist erklärten sich die Widersprüche dadurch, daß die Versuche unter ganz verschiedenen Bedingungen angestellt wurden. Man vermißt z. B. die Angaben der verwendeten Wellenlänge und Stärke des KW-Feldes, so daß jegliche Vergleichsbasis fehlt. Aus den Arbeiten von *Schliephake* (22), *Schereschewski* (21), *Esau*, *Pätzold* und *Ahrens* (3) geht eindeutig hervor, daß schon verschiedene Wellenlängen Unterschiede in der Erwärmung der Gewebe erzeugen können, was natürlich für die Wirkung außerordentlich wichtig ist.

Bei der nun folgenden Besprechung wurden deshalb nur diejenigen Mitteilungen berücksichtigt, aus denen die Versuchsanordnungen und -bedingungen einigermaßen ersichtlich waren.

Die meisten Angaben stammen von *Oettingen* (15). Er stellte fest, daß durch mäßige KW-Bestrahlung von Brunnenkresse und Bohnenkeimlingen deren Wachstum sich steigern ließ, besonders wenn die Saat vorgequollen war. Nach Ueberschreiten gewisser Grenzen von Wellenlänge, Stromstärke und Einwirkungszeit ließ sich jedoch eine deutliche Hemmung des Wachstums feststellen.

Er untersuchte auch die Auswirkung des KW-Feldes auf Frosch-, Kröten- und Axolotl-Laich. Eine starke Bestrahlung, die mit bedeutender Wärmebildung einherging, schädigte den Axolotl-Laich so, daß sich die Eier nicht weiterentwickelten oder Larven ausschlüpften, die verkümmert oder nicht lebensfähig waren. An Krötenlaich konnte er eine Beschleunigung der Entwicklung beobachten.

Mezzadroli und *Vareton* (zit. nach *Jellinek* [6]) bestrahlten Seidenraupen mit KW. Die Raupen entwickelten sich besser unter der Einwirkung eines schwachen Kondensatorfeldes, und die Schmetterlinge kamen rascher zum Ausschlüpfen als die Kontrollen. Die Dauer der Metamorphose ist also durch die Betrahlung abgekürzt worden.

Um die Veränderungen feststellen zu können, die eine starke

KW-Dosis verursacht, tötete *Oettingen* (15) Mäuse vermittels KW (letale Dosis). Die Sektionen ergaben eine Hyperämie aller Organe und Oberflächenblutungen unter die serösen Häute. Die spezielle Untersuchung des Hodens zeigte ebenfalls eine starke Hyperämie; die Arterien, Kapillaren und Venen waren strotzend mit Blut gefüllt. Es waren viele, eben noch erkennbare Kapillarblutungen zu sehen, daneben Rhexisblutungen aus Arteriolen. Die Randbezirke des Hodens wiesen die stärksten Veränderungen auf. Ein schmaler Randsaum war durch völlige Nekrose der Epithelien so verwaschen, daß an dieser Stelle eine Organdiagnose nicht mehr möglich war. An den Kanälchen war das Protoplasma fast aller Epithelien geschrumpft. Die Spermiogenese war, abgesehen von diesem Randbezirk, wo alle Zellen zugrunde gegangen waren, normal. Der KW-Tod erfolgte also durch Ueberhitzung: Zirkulationsstörungen (Bluteindickung, Gefäßerweiterung mit Blutungen) und Parenchymschädigungen im Sinne einer eben beginnenden Strukturverwaschung (Koagulationsnekrosen). Untersuchungen von *Mc.Greight* und *MacKinley* (zit. nach *Oettingen* [15]) ergaben, daß solche Schädigungen auch durch heiße Luft erzeugt werden können, aber erst bei einer Temperatur von 160°.

Schwächere, mehrmalige Bestrahlung von Mäusen wirkte weniger schädigend. Am Hoden sah man alle Uebergänge von eben beginnender Verklumpung und Verfettung bis zur völligen Nekrose. Besonders empfindlich schienen die leicht zu schädigenden Samenzellen zu sein. Bei dieser Serie wurde auch eine genaue Untersuchung der Ovarien vorgenommen. Mäuse, die am 7. Tag nach der Bestrahlung getötet wurden, wiesen in ihren Ovarien eine große Anzahl (9—12) fast reifer Follikel an der Oberfläche und in der Tiefe des Organs auf. Die Eier waren fast durchgehend degeneriert, nur vereinzelt fanden sich normale Eibläschen. Neben den fast reifen Follikeln wurde eine große Anzahl atretischer Follikel beobachtet, die teils vollständig von stark lichtbrechenden Fettzellen angefüllt waren. In andern zeigte sich Verkalkung in Form feinerer und gröberer Körnchen. Am 32. Tage nach der Bestrahlung getötete Mäuse ließen in den meisten Fällen eine deutliche Erholung erkennen. Man konnte wieder Bildung von normalen Follikeln mit gesunden Eiern und deutlicher Corpus-luteum-Bildung feststellen.

Aehnliche Untersuchungen stellen *Raab* und *Hofmann* (18) an. Sie bestrahlten Kaninchenhoden, die am Tage nach der Behandlung eine Schwellung aufwiesen. Die mikroskopische Untersuchung ergab ein Bild, in dem sowohl intakte Zellen aller Gattungen vorhanden waren, daneben aber auch wieder Zellgruppen, die der teilweisen oder völligen Nekrose anheim fielen. Auffallend war jedoch die außerordentlich starke Spermienbildung, indem die Hoden-

lumina dicht mit Spermien angefüllt waren. Die KW lösten eine Funktionsanregung der noch widerstandsfähigen Zellen aus, also solcher Zellen, die nicht nekrotisch wurden. Untersuchung solcher Hoden nach 3 Wochen ergab ein Bild völliger Wiederherstellung der vorher nekrotischen Zellsysteme.

Um den Einfluß der KW auf den Entwicklungsvorgang der Föten von der ersten Zellteilung an bis zur Reife zu studieren, stellten *Raab* und *Hofmann* (18) Versuche mit befruchteten Hühnereiern an. Diese wurden nicht durch die Wärme des Brutschrankes, sondern durch Wärmebildung im Ei-Innern vermittels KW-Durchflutung ausgebrütet. Die Eier lagen die ganze Zeit hindurch im Kondensatorfeld eines KW-Apparates und wurden also durch die KW-Aufheizung zur Entwicklung gebracht. Der Brutkasten wies eine konstante Temperatur von 25° auf. Die Eirand-Temperatur betrug stets 37°, erzeugt durch die ständige KW-Durchflutung. Nach 21 Tagen schlüpften die Kücken aus und konnten sich in nichts von den Kontrolltieren unterscheiden. Die beiden Autoren schließen daraus, daß die Wirkung der KW, nach diesen Versuchen zu urteilen, in nichts anderem als in einem reinen Wärmeeffekt besteht.

Pickhan (17) prüfte die KW-Wirkung bei Drosophila melanogaster auf Beeinflußbarkeit des Erbgutes. Er konnte einwandfrei feststellen, daß eine Erhöhung der Mutationsrate durch KW-Behandlung nicht erzeugt wurde, wie dies z. B. mit den Röntgenstrahlen möglich ist. Ebenso konnte er in der Enkelgeneration (F 2) eine erhöhte Sterilität nicht beobachten.

Aus diesen Mitteilungen geht deutlich hervor, daß die KW eine biologische Wirkung auf Keimzellen und Keimdrüsen auszuüben vermögen. Doch über das Wesen der Wirkung ist wenig ausgesagt. Wohl sind in der Literatur viele Erklärungen zu finden. Die einen behaupten, daß der ganze Effekt auf reiner Wärmewirkung beruhe, andere sprechen von einer spezifischen KW-Wirkung usw. Wir haben uns deshalb die Aufgabe gestellt, auch diese Fragen zu prüfen.

IV. Eigene Versuche

Um den Einfluß der KW auf die embryonale Zelle und die Keimdrüsen nachzuweisen, wurden sowohl Versuche mit pflanzlichen als auch mit tierischen Keimzellen durchgeführt (Weizenkörner, Froschlaich, Hühnereier). Die Wirkung der KW auf die Keimdrüsen wurde an weißen Mäusen geprüft.

Zur Abklärung der Frage, ob es sich bei der KW-Wirkung um eine reine Wärmewirkung handelt, wurden vergleichende Versuche an Weizenkörnern und Hühnereiern durchgeführt.

Die nun folgenden Versuche wurden mit einem Ultrakurzwellentherapie-Apparat der Firma H. G. Fischer & Co., Chicago, Type SWD, Wellenlänge 6 m, durchgeführt. Herrn P.-D. Dr. med. *J. von Ries*, Engeriedspital Bern, der die Durchführung der Bestrahlungen überwachte und stets mit Rat und Tat wertvolle Hilfe leistete, sei an dieser Stelle mein bester Dank ausgesprochen.

A. Versuche mit pflanzlichen Keimzellen

Als Versuchsobjekte dienten Weizenkörner. Diese wurden in Papiersäckchen zwischen den beiden Elektrodenplatten, deren Abstand 10 cm betrug, der Bestrahlung ausgesetzt. Hernach streute man die Körnchen auf Tellerchen, wo sie bei Wasserzusatz zu wachsen begannen. Täglich befeuchtete man sie zweimal vermittels einer feinen Blumenspritze mit gewöhnlichem Leitungswasser. Die Teller wurden so aufgestellt, daß nie direktes Sonnenlicht auf sie fallen konnte, um die Wachstumsverhältnisse nicht zu komplizieren.

Die nun folgenden Resultate sind *Durchschnittswerte* aus zahlreichen Versuchen, die zu verschiedensten Jahreszeiten durchgeführt wurden.

Es stellte sich heraus, daß das Wachstum sowohl von trockenen als auch gequollenen Weizenkörnern mit einer KW-Stärke von 240 mA die maximale Anregung erfuhr. 100 mA stellten gerade den Schwellenwert dar, der das Wachstum zu beeinflussen vermochte (siehe Abb. 1).

Abb. 1. Einwirkung eines KW-Stoßes von 5 Min. auf gequollenen Weizen: I = 100 mA, IV = 240 mA.

a) Versuche mit trockenen Körnern

1. *Kurzwellen-Stoß:* Trockene, nicht gekeimte Weizenkörner werden einer kurzen, einmaligen Bestrahlung ausgesetzt. Die bestrahlten Körner weisen schon nach einigen Tagen viel längere Wurzelspitzen auf als die Kontrolle. Auch das Wachstum der Halme setzt früher ein. Nach einem Monat ergibt sich folgendes Bild:

Wirkung eines einmaligen KW-Stoßes (240 mA), trockener Weizen

Zeit der Bestrahlung Min.	Höhe des Weizens cm
1	9
5	11
10	7
Kontrolle	4

Ein einmaliger KW-Stoß vermag also den Keimungsvorgang außerordentlich anzuregen und das Wachstum zu beschleunigen. Die bestrahlten Körner weisen auch ein viel üppigeres Wurzelwachstum auf. Die stärkste Anregung bewirkt ein KW-Stoß von 5 Minuten.

2. *Wärme-Stoß:* Trockene Weizenkörner werden für kurze Zeit (1—10 Min.) einer Wärme von 50° ausgesetzt. Durch eine kleine Oeffnung werden die Körner für verschiedene Zeiten in einen Thermostaten mit einer Innentemperatur von 50° gebracht. Nach einem Monat ergibt sich folgendes Bild:

Wirkung eines Wärmestoßes (50°), trockener Weizen

Einwirkungsdauer Min.	Höhe des Weizens cm
1	5
5	8
10	6
Kontrolle	4

Es ist eine bekannte Tatsache, daß dauernde Wärmeeinwirkung das Wachstum sehr zu beschleunigen vermag (Treibhäuser). Es genügt aber *merkwürdigerweise auch schon ein ganz kurzer Wärmestoß, um das Wachstum dauernd anzuregen.* Ein Wärmestoß von 5 Min. regt das Wachstum am meisten an.

Sowohl ein KW-Stoß als auch ein Wärme-Stoß vermögen auf trockenen Weizen anregend zu wirken, und zwar scheint eine Einwirkungszeit von 5 Min. die günstigsten Resultate zu erzielen.

b) Versuche mit gequollenen Körnern

Hier werden die Körner zuerst für 48 Stunden in Wasser eingelegt. Nach dieser Zeit sind sie ganz aufgequollen und beginnen eben zu keimen. Der Wachstumsvorgang ist also schon im Gang.

1. *Kurzwellen-Stoß:* Sonst gleiche Durchführung wie oben. Nach 3 Wochen Wachstum auf den Tellerchen beginnt der Weizen zu welken. Die Höhe beträgt nach dieser Zeit:

Wirkung eines KW-Stoßes (240 mA), gequollener Weizen

Zeit der Bestrahlung Min.	Höhe des Weizens cm
1	11
5	13
10	10
Kontrolle	7

Das stärkste Wachstum weist wieder der während 5 Min. bestrahlte Weizen auf (siehe Abb. 2).

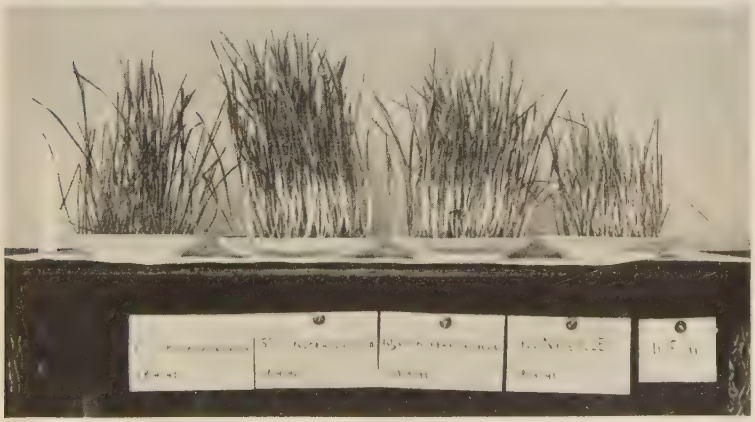

Abb. 2. Einwirkung eines KW-Stoßes (240 mA) von 1,5 und 10 Min. auf gequollenen Weizen

2. *Kurzwellen-Stoß (300 mA)*: Setzt man den gequollenen Weizen einem KW-Stoß von intensiverer Stärke aus, so wird das Wachstum deutlich gehemmt (siehe Abb. 3).

Wirkung eines KW-Stoßes (300 mA), gequollener Weizen

Zeit der Bestrahlung Min.	Höhe des Weizens cm
2	4
5	5
12	5
Kontrolle	7

Das geringste Wachstum ist beim kürzesten Stoß (2 Min.) zu beobachten, während längerdauernde Bestrahlungen einen weniger

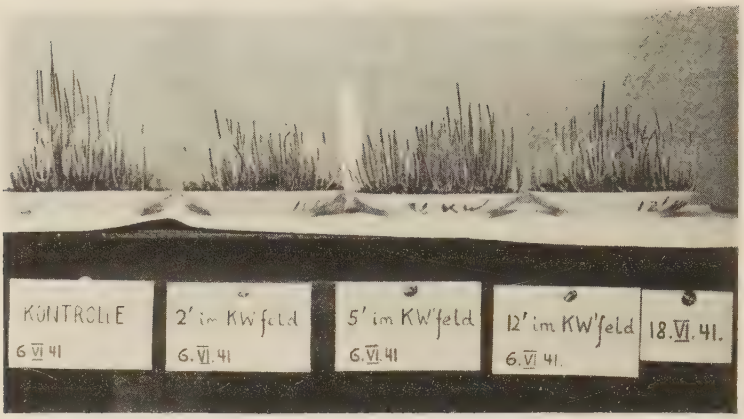

Abb. 3. Einwirkung eines KW-Stoßes (300 mA) von 2,5 und 12 Min. auf gequollenen Weizen.

schädlichen Einfluß haben, jedoch das Wachstum auch noch hemmen.

3. *Wärme-Stoß:* Gequollener Weizen wird in Wasser von 50° getaucht. Nach 3 Wochen beträgt die Höhe des einmal eingetauchten Weizens:

Wirkung eines Wärme-Stoßes (50°), gequollener Weizen

Eintauchungszeit	Höhe des Weizens
Min.	cm
1	11
5	10
10	18
Kontrolle	10

Auch Wärme kann gequollene Weizenkörner zu stärkerem Wachstum anregen, doch braucht es schon eine ziemlich kräftige Einwirkung (10 Min.). Wärme-Stöße von 1 und 5 Min. haben keinen wesentlichen Einfluß auf das Wachstum (siehe Abb. 4).

Gequollener Weizen kann somit auch mit KW und Wärme zu stärkerem Wachstum angeregt werden. Ein KW-Stoß von 5 Min. mit 240 mA zeigt die günstigsten Resultate, während ein KW-Stoß von 5 Min. mit 300 mA das Wachstum deutlich hemmt. Um gequollene Weizenkörner durch einen Wärmestoß zu einem stärkeren Wachstum anzuregen, braucht es jedoch schon längerer Einwirkungszeiten.

Gequollene Weizenkörner reagieren auf KW mit einer stärkeren Wachstumsanregung als trockene (siehe Abb. 5). Durch die Wasser-

Abb. 4. Einwirkung eines Wärme-Stoßes (50°) von 1,5 und 10 Min. auf gequollenen Weizen.

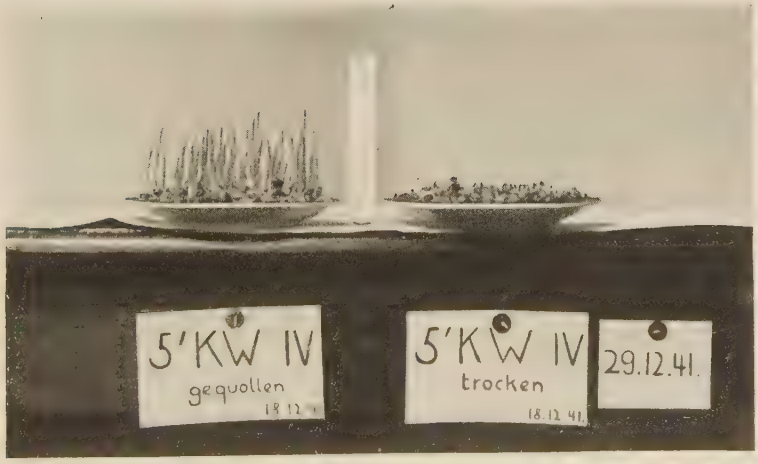

Abb. 5. Einwirkung eines KW-Stoßes (240 mA, 5 Min.) auf gequollenen und trockenen Weizen.

aufnahme der Körner werden die elektrischen Verschiebungsströme innerhalb der Zellen wahrscheinlich durch das veränderte Ionenmilieu erleichtert. Dadurch kommt wohl die Steigerung der Wirkung zustande.

Dieser Effekt macht sich jedoch nur im Anfang der Wirkung bemerkbar. Trockener Weizen, relativ gemessen, wird gegenüber der Kontrolle viel höher als gequollener Weizen. Dies kann veranschaulicht werden, *indem man die Höhe der Kontrolle mit 1 bezeichnet und die Höhe des bestrahlten Weizens als ein Vielfaches davon.* Die so erhaltenen Verhältniszahlen lauten dann folgendermaßen:

Dauer des KW-Stoßes (240 mA) Min.	Trockener Weizen	Gequollener Weizen
1	1 : 2,25	1 : 1,56
5	1 : 2,75	1 : 1,75
10	1 : 1,75	1 : 1,43

Die hemmende Wirkung der stärkeren Bestrahlung kann auch durch diese Verhältniszahlen deutlich zum Ausdruck gebracht werden (*Kontrolle wieder mit 1 bezeichnet*):

Dauer des KW-Stoßes (300 mA) Min.	Gequollener Weizen
2	1 : 0,42
5	1 : 0,71
12	1 : 0,70

Bestrahlter trockener Weizen wird im Durchschnitt über das Doppelte so hoch wie die Kontrolle, während gequollener Weizen maximal nur die 1¾fache Höhe der Kontrolle aufweist. Es ist möglich, daß, wenn das Wachstum auf natürlichem Wege schon angeregt ist, die KW nicht mehr so fördernd wirken, trotz den eigentlich günstigeren Einwirkungsbedingungen (Wasseraufnahme).

Wie aus obigen Versuchen hervorgeht, kann also auch bloße, einmalige Wärme-Einwirkung das Wachstum bedeutend anregen, doch nie in dem Maße wie die KW. Der Wärme-Stoß ist ein viel gröberer Eingriff in das Leben der Zelle als der KW-Stoß, gehen doch beim Eintauchen in das warme Wasser schon sehr viele Körner durch Wärmeschädigung zugrunde. Es überstehen also nur die Widerstandsfähigsten diese Prozedur. Bei den mittleren KW-Bestrahlungen waren solche Schädigungen einzelner Körner nie festzustellen.

Beim Wärme-Stoß tritt die Wärme durch Fortleitung von der Schale her in das Innere ein, wo sie dann von ihrer Energie schon viel eingebüßt hat. Beim KW-Stoß jedoch entsteht die Wärme, die bei der kurzen KW-Applikation kaum meßbar ist, im Innern der Zelle selbst.

Es genügen, wie in der Einleitung gezeigt wurde, minimalste Veränderungen an der Molekularstruktur der verschiedenen Zellelemente, um biologische Wirkungen zu erzeugen.

B. Versuche mit Froschlaich

Ludwig und *v. Ries* (12) setzten in wassergefüllten Konservengläsern Froschlaich der Bestrahlung aus, indem sie die Gläser zwischen die Plattenelektroden des KW-Apparates stellten (Abstand: 21 cm). Der Beweis, daß KW durch das Glas hindurch zu dringen vermögen, wird durch ein Neonröhrchen erbracht, das in das Wasser eingetaucht wird und dort aufleuchtet.

1. *Einmalige Bestrahlung von befruchteten Eiern von Rana temporaria:*

Eine Bestrahlung von 5 Min. mit 240 mA bewirkt eine Verzögerung der Embryonalentwicklung und eine Verspätung des Ausschlüpfens der Embryonen. Die meisten Larven sind auffallend kleiner und weisen vielfach Schwanzverkrümmungen auf.

Erst eine Bestrahlung von 10 Min. mit 240 mA vermag das Wachstum zu beschleunigen. Das Ausschlüpfen der Embryonen erfolgt wesentlich früher als bei den Kontrollen. Die Ausbildung der hinteren Extremitäten setzt früher ein.

2. *Mehrmalige Bestrahlung:* Während ein KW-Stoß (240 mA) von 5 Min. das Wachstum deutlich hemmt (siehe oben), vermögen *mehrmalige KW-Stöße (240 mA) von 5 Min.* eine noch ausgesprochenere Beschleunigung des Wachstums zu erzielen, als dies ein einmaliger KW-Stoß (240 mA) von 10 Min. vermag. Die Larvenkörper entwickeln sich kräftiger und werden viel größer als die Kontrollen. Die bestrahlten Tiere sind schon zu Fröschchen entwickelt, wo die Kontrollen noch nicht einmal Anzeichen von Bildung der hinteren Extremitäten aufweisen. Das Stadium der Metamorphose wird also durch die Bestrahlung viel schneller überwunden.

C. Versuche mit befruchteten Hühnereiern

Da bei obigen Versuchen eine Messung der Larventemperatur aus technischen Gründen nicht möglich war, konnte über die Art der physikalischen KW-Wirkung nicht viel ausgesagt werden. Um auch über diesen Punkt Aufklärung zu erhalten, wurden Hühnereier als Versuchsobjekte gewählt.

1. *Einfluß von KW und Wärme auf die Ei-Innentemperatur.*

Ein gewöhnliches Hühnerei wird an einem Pol eröffnet und dort vermittels eines Quecksilberthermometers die Innentempera-

tur festgestellt. Diese ist natürlich abhängig von der Außentemperatur.

a) Eier, deren Innentemperatur 19,5° beträgt, werden nun einem KW-Feld von verschiedener Stärke während 5 Min. ausgesetzt.

KW-Bestrahlung von 5 Min. mit	ergibt	Ei-Innentemperatur von
90 mA		20,0°
175 mA		20,4°
280 mA		20,75°

Die stärkste Bestrahlung von 5 Min. mit 280 mA vermag also die Ei-Innentemperatur nur um 1,25° zu erhöhen.

b) Werden nun Eier mit einer Innentemperatur von 18° in warmes Wasser von 50° während 5 Min. eingetaucht, so steigt die Ei-Innentemperatur auf 40,1°. Das Ei erwärmt sich also während dieser Zeit um 22,1°.

Die stärkste KW-Bestrahlung von 5 Min. vermag also die Ei-Innentemperatur etwas zu erhöhen, jedoch nicht in dem Maße wie der Wärme-Stoß. Hier beträgt die Ei-Innentemperatur nach der gleichen Einwirkungsdauer mehr als das Doppelte der Ausgangstemperatur.

2. *Einfluß der KW auf das Schlupfergebnis von befruchteten Hühnereiern.*

Befruchtete Hühnereier werden einem KW-Feld ausgesetzt, indem man die Eier in Glasschalen zwischen die Elektroden des KW-Apparates (Abstand: 20 cm) bringt. Nach der Bestrahlung werden die Eier sofort in einen gewöhnlichen elektrischen Brutschrank gelegt, dessen Innentemperatur konstant 37,5° beträgt. Dort gelangen die Eier während 3 Wochen zur Ausbrütung. Täglich werden sie zweimal über die Spitze gewendet. Nach 20—21 Tagen schlüpfen die Küken aus. Die übrigen Eier, aus denen nichts ausgeschlüpft ist, werden nach diesem Zeitpunkt eröffnet und auf abgestorbene Föten untersucht. Bei einem gewissen Prozentsatz entwickelte sich überhaupt nichts, was auf fehlende Befruchtung zurückzuführen ist.

Insgesamt gelangten 220 Eier zur Ausbrütung. Jede einzelne Versuchsserie wurde mit 10 Eiern durchgeführt. Es wurde mit verschiedenen Bestrahlungszeiten (1—15 Min.) und mit verschiedener KW-Stärke (60—280 mA) gearbeitet. Die Eier wurden ein- oder mehrmalig bestrahlt. Daneben wurde auch die Technik des Wärme-Stoßes ausgeführt, indem man die befruchteten Eier für verschiedene Zeiten (1—10 Min.) in Wasser von 50° eintauchte, bevor man sie in den Brutschrank legte.

a) *Ergebnisse der einmaligen Bestrahlung:* an Hand der verschiedenen Resultate stellte sich heraus, daß die Länge der Ein-

wirkungsdauer innerhalb dieser engen Grenze (1—15 Min.) keine Rolle spielte. Maßgebend schien allein die Stärke des KW-Stoßes zu sein.

Zusammenfassung der Ergebnisse

	Keine Befruchtung	Abgestorbene Föten	Ausgeschlüpfte Kücken	Gesamtzahl der Eier
Kontrolle . . .	5	4	21	30
1—15 Min., 60—100 mA . .	18	19	33	70
5—10 Min., 250—280 mA . .	4	11	15	30
Wärme-Stoß 50°, 1—10 Min. . . .	12	15	23	50

Um das Ergebnis deutlicher zum Ausdruck zu bringen, wird die Gesamtzahl der Eier auf je 10 reduziert, d. h. wie wenn jede Versuchsserie der obigen Zusammenstellung nur mit 10 Eiern gemacht worden wäre. So erhält man eine bessere Vergleichsbasis.

	Keine Befruchtung	Abgestorbene Föten	Ausgeschlüpfte Kücken	Gesamtzahl der Eier
Kontrolle . . .	1,66	1,33	7	10
1—15 Min., 60—100 mA . .	2,57	2,71	4,71	10
5—10 Min., 250—280 mA . .	1,33	3,66	5	10
Wärme-Stoß 50°, 1—10 Min. . . .	2,4	3	4,6	10

Es zeigt sich, daß die Verhältnisse bei der Kontrolle unbedingt am günstigsten sind. Bei den auf 10 reduzierten Versuchsreihen schlüpften bei der Kontrolle 7 Kücken aus, während bei den mit 60—100 mA bestrahlten Eiern nur 4,71 Kücken ausschlüpften. Etwas bessere Ergebnisse erzielte man mit der stärkeren Bestrahlung, die 5 Kücken zum Ausschlüpfen brachte. Das schlechteste Schlupfergebnis verursachte der Wärme-Stoß.

Sieht man von den unbefruchteten Eiern ab und vergleicht die vor Ablauf der normalen Brutzeit (20—21 Tage) abgestorbenen Föten mit den ausgeschlüpften Kücken, so wird die KW-Wirkung noch deutlicher veranschaulicht. Das Verhältnis der abgestorbenen Föten zu den ausgeschlüpften Kücken beträgt bei der

Kontrolle	4 : 21	oder	1 : 5,25
60—100 mA . . .	19 : 33		1 : 1,73
250—280 mA . . .	11 : 15		1 : 1,36
Wärme-Stoß . . .	15 : 23		1 : 1,53

Bei der Kontrolle kommen auf einen abgestorbenen Föten 5,25 gut entwickelte Kücken, während bei 250—280 mA auf einen abgestorbenen Föten nur 1,36 Kücken kommen.

b) *Ergebnisse bei mehrmaliger Bestrahlung:* Die befruchteten Eier wurden an 3 aufeinanderfolgenden Tagen während je 5 Min. bestrahlt und dann erst in den Brutkasten eingelegt.

Zusammenstellung der Ergebnisse:

	Keine Befruchtung	Abgestorbene Föten	Ausgeschlüpfte Kücken	Gesamtzahl der Eier
Kontrolle . . .	4	6	2	12
60 mA	3	4	7	14
280 mA	3	5	6	14

Das Schlupfergebnis ist am schlechtesten bei der Kontrolle, wo nur bei 16% der Eier Kücken ausschlüpften. *Die mit 60 mA bestrahlten Eier zeigten die günstigsten Resultate:* 50% der Eier entwickelten sich bis zur völligen Reife. Mit 280 mA bestrahlte Eier: gute Entwicklung bei 43%.

Während die vorherigen Versuche im Frühjahr gemacht wurden, konnten die letzten Versuche erst im Spätsommer angesetzt werden. Es geschah dies also zu einer Zeit, in der Hühnerzüchter wegen der anerkannt schlechten Schlupfergebnisse keine Eier mehr ausbrüten lassen. Diese Erfahrung bestätigt sich im Verhalten der Kontrolle, wo von 12 Eiern nur 2 zur richtigen Entwicklung gelangten.

Die Resultate der Hühnereier-Bestrahlung verhalten sich ganz gleich wie bei der KW-Durchflutung von Froschlaich. Eine einmalige kurze Bestrahlung wirkte auch dort hemmend und schädigend auf die Entwicklung ein, während eine mehrmalige Bestrahlung die Entwicklung förderte und beschleunigte. Bei den Hühnereiern war jedoch nur eine Verbesserung des Schlupfergebnisses, hingegen keine Beschleunigung der Entwicklung zu beobachten. Die Kücken schlüpften nämlich erst am 20.– 21. Tage aus, genau wie die Kontrolltiere. Die Weiterbeobachtung der KW-Kücken, die sich jetzt über ein Jahr erstreckt, läßt keine Unterschiede gegenüber den Kontrollkücken feststellen.

Leider mußte diese Versuchsreihe wegen der einsetzenden Eierknappheit (Herbst 1941) abgebrochen werden.

Bei diesen Versuchen wirkte Wärme wieder ganz ähnlich wie die KW. Wenn man jedoch bedenkt, daß beim Wärme-Stoß die Ei-Innentemperatur um über 20° anstieg, so stellt dieses Verfahren einen viel gewaltsameren Eingriff dar als die KW. Diese greifen in die Molekularstruktur des Gewebes ein und vermögen dort Veränderungen zu erzeugen, die sich bald im positiven, bald im negativen Sinne auswirken. Es ist dies als eine charakteristische, vielleicht als die von verschiedenen Autoren mit „spezifisch" bezeichnete Eigenschaft der KW anzusehen.

D. Versuche mit weißen Mäusen

a) *Wirkung eines starken KW-Stoßes:* Weiße weibliche Mäuse wurden während *5 Min. mit 260 mA* bestrahlt. Die Tiere waren während der Behandlung sehr unruhig und aufgeregt. Sie suchten aus dem Glasgefäß zu entweichen, um aus dem Bereich des Kondensatorfeldes zu gelangen. Beim Ausschalten des Stromes beruhigten sich die Tiere sofort wieder. Nach einigen Tagen versteiften sich ihre Schwänze; sie verbogen sich und zeigten rot-schwarze Fleckung. Nach 4 Wochen wurden sie nach vorheriger Mumifikation abgestoßen. Es ist dies eine Folge der sog. Spitzenwirkung: an hervorspringenden Körperteilen bildet sich eine besonders starke Konzentration des KW-Feldes aus. Trotzdem die Mäuse vor der Bestrahlung während 5 Tagen mit Männchen zusammengebracht worden waren, *trat bei keiner Maus eine Gravidität ein.* Die verursachte Sterilität ist wohl eine Folge der starken KW-Bestrahlung, indem sich im Ovar ähnliche Prozesse abspielten, wie *Raab* und *Hofmann* (18) im Kaninchenhoden nachweisen konnten.

b) *Wirkung eines schwachen KW-Stoßes:* Eine Bestrahlung von *5 Min. mit 100 mA* hatte gar keine nachteilige Wirkung. Auch waren die Tiere während der Bestrahlung viel ruhiger und unternahmen keine Fluchtversuche. *21 weibliche Mäuse haben 39 lebende Junge geworfen, während von 22 Kontrolltieren nur 19 Junge geboren wurden.*

Auf eine bestrahlte Maus fielen demnach 1,85 Junge, während im Durchschnitt eine Kontrollmaus nur 0,85 Junge warf; *das Wurfergebnis war also bei den bestrahlten Tieren um mehr als 100% besser.*

Interessanterweise betrug jedoch die Tragzeit bei den bestrahlten Tieren 28—30 Tage, statt, wie normalerweise, 20—21 Tage. *Die Schwangerschaftsdauer war also um 8—10 Tage verlängert worden* (siehe auch *Ludwig* und *von Ries* [14]). Für die Erklärung der längeren Tragzeit konnten in der Literatur nirgends Hinweise gefunden werden.

Leider war es nicht möglich, weitere einschlägige Versuche

durchzuführen, da im 3. Kriegsjahr (Herbst 1942) auch die Mäuse wegen des Futtermangels äußerst schwer zu erhalten waren.

V. Kritische Betrachtung der Versuchsergebnisse

Faßt man die Resultate der in der Literatur und durch die eigenen Versuche beobachteten Ergebnisse zusammen, so läßt sich eine deutliche Wirkung der KW-Bestrahlung sowohl auf die Keimzellen und die embryonale Entwicklung als auch auf die Fortpflanzungsvorgänge nachweisen. Diese Einflüsse können je nach der Bestrahlungsdauer und der angewendeten Stromstärke verschiedenartig sein.

Um vorerst auf die Frage einzutreten, ob die KW-Bestrahlung als Wärmewirkung aufzufassen sei, geht aus unseren Versuchen eindeutig hervor, daß ein *ausgesprochener Unterschied zwischen reiner Wärmeeinwirkung und KW-Bestrahlung besteht.* So läßt sich nach Eintauchen von Hühnereiern in 50° warmes Wasser während 5 Minuten eine Steigerung der Ei-Innentemperatur von 22° nachweisen, während eine KW-Bestrahlung (280 mA) von 5 Min. die Ei-Innentemperatur nur um 1,25° zu steigern vermag.

Wenn auch der Endeffekt auf das Schlupfergebnis bei beiden Behandlungsarten ungefähr derselbe ist, so sind die Einwirkungsmechanismen doch verschieden. Bei der KW-Schädigung kann es sich wegen der äußerst geringen Wärmebildung nicht um eine Hitzeschädigung handeln. Sollte übrigens auch Wärme bei langer KW-Bestrahlung entstehen, so würde sie sich nicht schädigend auswirken, wenn sie sich in einigermaßen physiologischem Rahmen hält (Versuche von *Raab* und *Hofmann*).

Ganz ähnlich sind die Verhältnisse bei unsern Weizenversuchen. Auch hier ist die KW-Wirkung nicht nur auf eine Wärmebildung zurückzuführen, denn, um die gleichen Wachstumsförderungen oder -hemmungen zu erhalten wie bei der KW-Bestrahlung, braucht es schon eine recht beträchtliche Wärmeeinwirkung.

Beim Wärme-Stoß wird die Wärme von außen zugeführt, während beim KW-Stoß die Wärme im betreffenden Objekt selbst entsteht. Bei den kurzdosierten KW-Stößen ist die meßbare Wärmebildung so gering, daß nicht sie allein für die Wirkung maßgebend sein kann. Nach *Rajewsky* (19) handelt es sich um eine sog. *Mikro-Erwärmung.* Die Zellmembranen werden bei den Hochfrequenzströmen durch den Verschiebungsstrom überbrückt. So wird ein Stromdurchgang im Innern der Zelle ermöglicht. Auf diese Weise kann es daselbst zu einer Energie-Entfaltung kommen, indem die elektrisch-polaren Moleküle durch das Wechselfeld in Schwingung versetzt werden. Dieser Vorgang erzeugt Wärme in geringsten Mengen.

Neben dieser Mikro-Erwärmung ist aber noch ein anderer Faktor von Bedeutung: *die KW-Energie kann direkt in die physikalische Struktur von Molekülen und sogar Molekülteilen eindringen.* Den Beweis für diese molekulare Wirkung erbrachte *Schliephake* (23), indem er durch KW Pinazyanole entfärben und Diphtherieantitoxine nach Durchflutung mit 3-m-Wellen bei 20° unwirksam machen konnte.

Der Effekt so kurzer Bestrahlungen beruht wohl auf einer Umstellung in den Molekülen. Je nach der geänderten Situation resultiert eine Hemmung oder Anregung des Wachstums. Die längeren Bestrahlungen wirken dann mehr durch die von ihnen erzeugte Wärme (ähnlich wie die Diathermie). Ein einmaliger kurzer KW-Stoß kann evtl. eine ungünstige Situation in der Molekülstruktur verursachen, während mehrere kurze Stöße die Verhältnisse im Molekül wieder zu verbessern vermögen, so daß doch noch eine Förderung der Entwicklung eintreten kann (siehe Versuche mit Froschlaich und Hühnereiern).

M. Joly (zitiert nach *Liebesny* [9]) erklärt die anregenden und hemmenden Wirkungen folgendermaßen: In den Zellen gibt es bewegte Elektronen, von denen das Leben der Zelle abhängig ist. Wird die Elektronenbewegung abgebremst, so hört das Leben auf. Dies kann sich bei einer Bestrahlung mit einer Wellenlänge ereignen, die mit derjenigen der Zellelektronen Interferenzen erzeugt. Solche Interferenzen können aber auch Stimulation hervorrufen, wenn die auftreffenden Wellen mit den Elektronenwellen im Gleichtakt schwingen.

Diese Theorien vermögen sehr gut die Erklärungen für die Resultate unserer weiteren Untersuchungen abzugeben. *Wir konnten einwandfrei nachweisen, daß die KW-Bestrahlung z. T. anregend, z. T. hemmend sowohl auf die Keimzellen als auch auf die Keimdrüsen einwirken können.*

Beim Weizen fiel auf, daß er auf KW besser reagierte, wenn er ungequollen war. Dieses Ergebnis stimmt nur zum Teil mit den Beobachtungen von *Oettingen* überein (siehe Literaturübersicht). Er sagt dort aus, daß vorgequollene Saat besser auf KW reagiert als ungequollene. Auch aus unsern Versuchen ging hervor, daß gequollene Saat anfänglich ein schnelleres Wachstum durch KW-Bestrahlung aufweist, *doch bei vergleichenden Versuchen wird ungequollener Weizen, absolut gemessen, gegenüber der Kontrolle viel höher.*

Ist das Wachstum auf natürliche Weise schon angeregt, scheinen die KW nicht mehr einen großen Einfluß zu haben. Einen ähnlichen Effekt, nur im gegenteiligen Sinn, wiesen *Ludwig* und *v. Ries* (13) nach. Sie konnten in einer Versuchsreihe zeigen, daß man durch Prolan (Hypophysenvorderlappensubstanz) das Wachs-

tum von Weizen stark hemmen kann. Dieser hemmende Einfluß wurde durch nachträgliche KW-Bestrahlung nicht aufgehoben. *Es scheint, als ob das einmal gehemmte oder auch auf natürlichem Wege angeregte Wachstum durch KW nicht mehr so beeinflußt werden kann, wie wenn die KW auf noch unveränderte, „ruhende" Keimzellen einwirken können.*

Ein einmaliger KW-Stoß verursachte bei Froschlaich und befruchteten Hühnereiern eine Schädigung, während längere oder mehrmalige kürzere Stöße eine Förderung bewirkten. Es kann dies als Folge der oben erwähnten Veränderungen in der Molekülstruktur aufgefaßt werden. Auch kam es beim Froschlaich zu einer rascheren Ueberwindung der Metamorphose, was mit den Versuchen von *Mezzadroli* und *Vareton* an Seidenraupen übereinstimmt. Ebenso konnte *Oettingen* denselben Nachweis bei Krötenlaich erbringen.

Hingegen stimmen unsere Ergebnisse von den Hühnereier-Versuchen mit denjenigen von *Raab* und *Hofmann* nicht ganz überein. Wir konnten eine *deutliche Schädigung* feststellen, während die beiden Autoren bei langer KW-Bestrahlung keine nachteiligen Wirkungen beobachteten. Es wäre möglich, daß ein kurzer KW-Stoß schädlicher wirkt als eine langdauernde Bestrahlung. Bei der letzteren werden, wie oben angedeutet, sehr wahrscheinlich die Verhältnisse in der Molekülstruktur wieder verbessert, so daß die zuerst schädliche Wirkung aufgehoben wird. Leider konnten diese Versuche nicht weitergeführt werden, um für dieses gegenteilige Verhalten eine Erklärung zu finden und um die vielleicht nur scheinbaren Gegensätze überbrücken zu können.

Starke und längere KW-Einwirkungen haben auf die Keimdrüsen einen schädigenden Einfluß, indem die KW das Gewebe zerstören. Schwächere und kurze KW-Stöße vermögen diese Organe im Sinne einer Funktionsanregung zu beeinflussen. *Oettingen* (15) konnte bei seinen Versuchen (allerdings bei Bestrahlung mit starken Dosen) histologisch eine vermehrte Spermien- und Follikelproduktion nachweisen. Bei *unseren Versuchen* an weiblichen weißen Mäusen mit schwächeren Dosen ist jedoch auch eine vermehrte Follikelbildung anzunehmen, was die größere Zahl von geworfenen Jungen erklären würde.

Aus allen diesen Versuchen geht eindeutig hervor, daß nicht nur die Zeit, sondern auch die Stärke der Einwirkung eine große Rolle spielt. Daneben ist die Beschaffenheit des Materials von großer Wichtigkeit. So kann z. B. eine bestimmte Einwirkungsdauer und KW-Stärke das eine Mal eine Förderung (Weizen), das andere Mal eine Hemmung (Froschlaich) des Wachstums verursachen. Es ist dies als eine Folge des verschiedenen Aufbaues des biologischen

Materials zu betrachten. Die KW-Wirkung ist eben abhängig von der Verteilung der Hochfrequenzenergie in der Mikrostruktur des Gewebes, das verschiedene Dielektrizitätskonstanten und verschiedene elektrische Leitfähigkeiten aufweisen kann.

Bei der Anwendung von KW ist also unbedingt darauf zu achten, daß man diesen Eigenschaften Rechnung trägt. Es liegen da ganz ähnliche Verhältnisse wie bei den Röntgenstrahlen vor.

Die Angaben verschiedener Autoren, die behaupten, daß man bei der KW-Therapie keine Schädigungen zu befürchten habe, solange die Patienten nichts von einem Wärmegefühl verspüren, sind nach unseren Versuchen mit einer gewissen Vorsicht aufzunehmen. Wir konnten einwandfrei feststellen, daß Schädigungen durch sehr kurzdauernde KW-Bestrahlungen vorkommen, ohne daß damit eine stärkere Wärmeentwicklung verbunden war.

VI. Zusammenfassung der eigenen Versuchsergebnisse

1. KW (240 mA) und Wärme-Stoß (50°) wirken anregend auf das Wachstum von trockenen und gequollenen Weizenkörnern.

2. Der in trockenem, ungekeimten Zustand mit KW (240 mA) bestrahlte Weizen weist eine bedeutend stärkere Wachstumssteigerung auf als der in gequollenem, gekeimtem Zustand bestrahlte Weizen.

3. Intensivere KW-Bestrahlung (300 mA) hingegen ruft eine deutliche Hemmung im Wachstum von gequollenen Weizenkörnern hervor.

4. Ein Wärme-Stoß von 10 Minuten Dauer (50°) führt beim gequollenen Weizen zu einer sehr starken Wachstumssteigerung. Ein Wärme-Stoß von kürzerer Dauer hat keinen Einfluß auf das Wachstum von Weizenkörnern.

5. Einmalige KW-Bestrahlung (5 Min., 240 mA) führt beim Froschlaich zu einer Verzögerung der embryonalen Entwicklung.

6. Längerdauernde (10 Min., 240 mA) oder mehrmalige KW-Bestrahlung von Froschlaich rufen eine ausgesprochene Beschleunigung der embryonalen Entwicklung hervor.

7. Durch KW-Bestrahlung (90—280 mA, 5 Min.) wird die Ei-Innentemperatur von Hühnereiern höchstens um 1,25° erhöht.

8. Hingegen steigt die Ei-Innentemperatur von Hühnereiern, welche während 5 Minuten in 50° warmes Wasser gebracht wurden, um 22°.

9. Das Schlupfergebnis von befruchteten Hühnereiern wird durch einmalige KW-Bestrahlung (60—280 mA, 1—15 Min.) ungünstig beeinflußt.

10. KW-Bestrahlung (60—280 mA, 3mal 5 Min.) führt bei

befruchteten Hühnereiern zu einem besseren Schlupfergebnis als bei den Kontrollen.

11. Ausgewachsene weibliche weiße Mäuse werden durch KW-Bestrahlung (260 mA, 5 Min.) steril.

12. Hingegen führen schwächere KW-Bestrahlungen (100 mA, 5 Min.) bei weißen Mäusen zu einer gesteigerten Fruchtbarkeit und zu einer Verlängerung der Schwangerschaftsdauer.

1. *Behnken:* Elektromedizin. Geiger-Scheelsches Hdb. d. Physik, Bd. 17. — 2. *Dessauer:* Strahlenther. **57** (1936). — 3. *Esau, Pätzold* und *Ahrens:* Naturw. H. **33,** 560 (1936). — 4. *Fritsch* und *Schubart:* Einführung in die Kurzwellentherapie. Verlag Urban & Schwarzenberg 1935. — 5. *Groag* und *Tomberg:* Wien. klin. Wschr. **1934,** 267. — 6. *Jellinek:* Wien. klin. Wschr. **1930,** 28. — 7. *Jellinek:* Med. Klin. **1934,** 799. — 8. *Kowarschik:* Kurzwellentherapie. Verlag Springer 1940. — 9. *Liebesny:* Strahlenther. **19.** Sonderbd. (1935). — 10. *Liebesny:* Strahlenther. **45** (1932). — 11. *Liebesny:* Strahlenther. **57** (1936). — 12. *Ludwig* und *v. Ries:* Schweiz. med. Wschr. **1940,** 46. — 13. *Ludwig* und *v. Ries:* Strahlenther. **67** (1940). — 14. *Ludwig* und *v. Ries:* Arch. Gynäk. Kongreßbd. **173.** — 15. *Oettingen:* Strahlenther. **41** (1931). — 16. *Oettingen:* Zbl. Gynäk. **1930,** 37. — 17. *Pickhan:* Dtsch. med. Wschr. **1937,** 28. — 18. *Raab* und *Hofmann:* Dtsch. med. Wschr. **1937,** 28. — 19. *Rajewski:* Strahlenther. **66** (1939). — 20. *Rajewski* und *Schäfer:* Dtsch. med. Wschr. **1937,** 28. — 21. *Schereschewski:* Radiology **20,** 246 (1933). — 22. *Schliephake:* Kurzwellen-Therapie. Verlag Fischer 1936. — 23. *Schliephake:* Strahlenther. **57** (1936). — 24. *Schliephake:* Strahlenther. **66** (1939). — 25. *Schliephake:* Münch. med. Wschr. **1941,** 22.